

Mätmetoder för rörelseövervakning av fyllningsdammar

Maja Rylander



Peter Viklander
 Kerim Genel Waldenström



Daniel Sjöstedt



Jonas Hammarson
 Carl-Oscar Nilsson

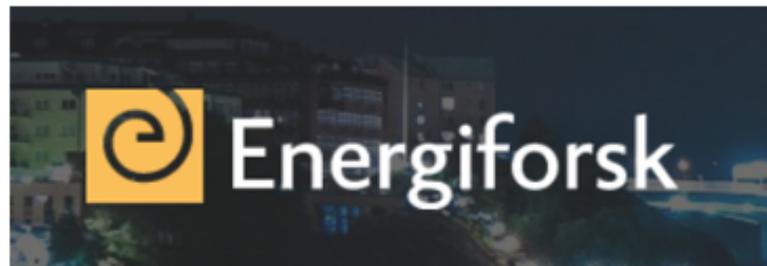
Referensgrupp

Projektorganisation



Fyllningsdamm:
 Maja Rylander
 Hedwig Haas
 Ingvar Ekström
 Benny Mohlin

Mätexpertis:
 Yuriy Reschetiuk
 Ronny Andersson



Carolina Holmberg

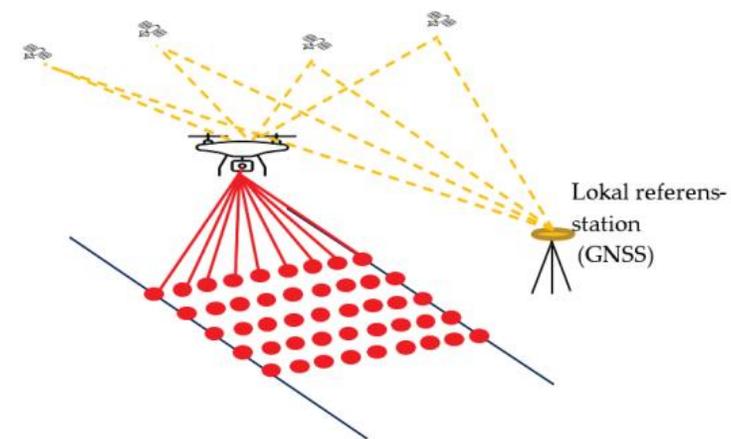
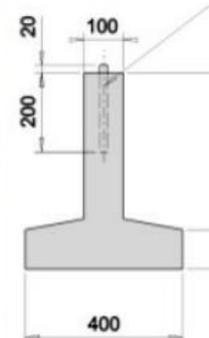
DAGENS INNEHÅLL

- Bakgrund
- Mål och syfte
- Riktlinjer och behov av rörelsemätning
- Metoder för rörelseövervakning
 - Punktbaserade mätningar
 - Ytbaserade mätningar
 - Mätningar i dammkroppen
- Exempel från rörelseövervakning
- Bästa metoden?



BAKGRUND

- Rörelser hos fyllningsdammar = Dammsäkerhetsproblem?
 - Stabilitetsproblem?
 - Läckage?
- Traditionellt: mätdubbar i betongblock på dammkroppen
- Senaste åren:
 - Stora tekniska framsteg
 - Ökat intresse för mer övergripande mätmetoder
 - Drönare och satelliter
 - Studie: Kan rörelser övervakas i befintliga vattenståndsrör?



MÅL OCH SYFTE

Ta fram en **aktuell sammanställning** av **tekniker** som kan användas för **rörelseövervakning** av **fyllningsdammar**, både **i dammen** och **på ytan** av dammen.

Fokus:

Belysa tekniker som används i Sverige

För- och nackdelar

Ekonomiskt perspektiv

Följande behandlas inte:

- Specifik instrumentering för övervakning i byggfasen, första dämningen och de första driftåren
- Ytbaserade metoder för rörelsemätning under vattenytan

RIKTLINJER OCH BEHOV AV RÖRELSEÖVERVAKNING

- RIDAS 2020:
 - Övervakning anpassas till anläggningens behov
 - Studera felmoder
- Foster, Fell et. al (2015):
 - Rörelseövervakning på dammens yta en av de viktigaste metoderna
 - Komplettera med mätning i dammkropp



METODER FÖR RÖRELSEÖVERVAKNING

- **Punktbaserade metoder (noga utvalda nyckelpositioner)**

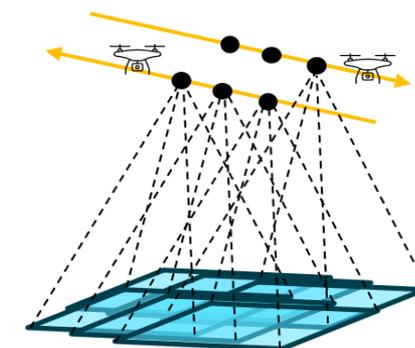
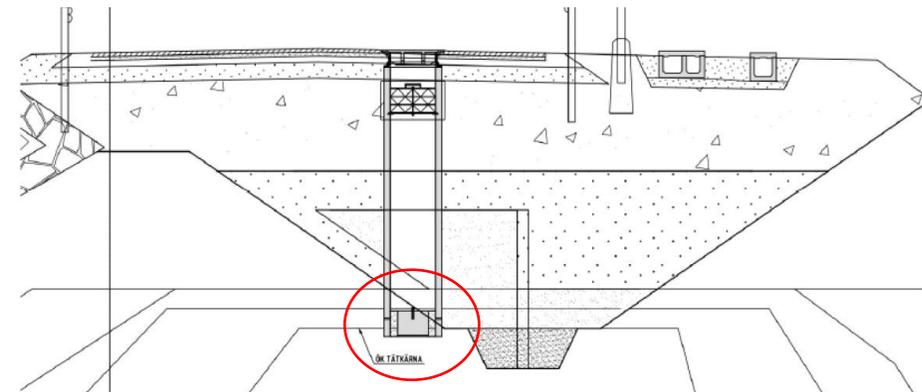
- Avvägning
- Totalstation
- Global Navigation Satellite System (GNSS)
- Automatisk övervakning med integrerade system

- **Ytbaserade metoder (hela objektet -> punktmoln)**

- Markbaserad laserskanning
- Unmanned Aircraft System (UAS) – fotogrammetri och laserskanning
- InSAR (satellitbaserad)
- Markbaserad SAR

- **Rörelsemätning i dammkroppen**

- Inklinometer
- Extensometer
- Sättningsmätare
- Optisk fiber
- ShapeArray (SAA)



PUNKTBASERADE METODER

PUNKTBASERADE METODER

Avvägning

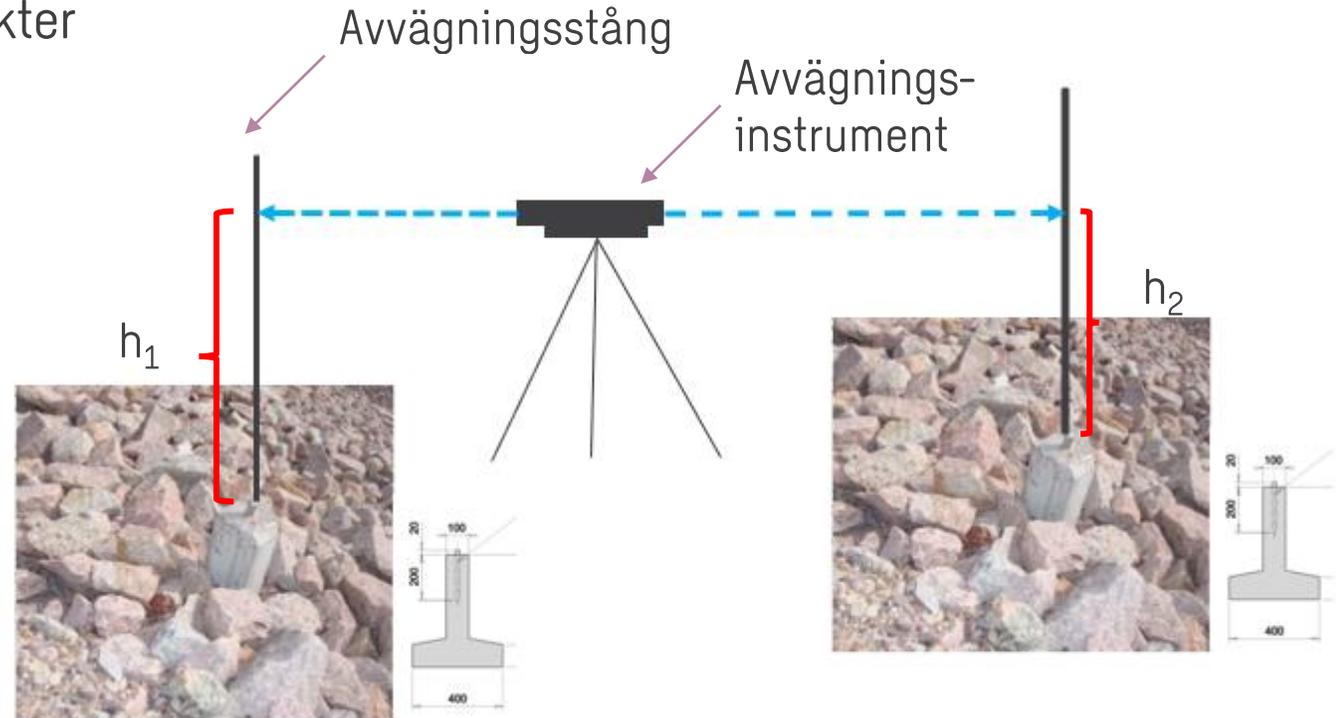
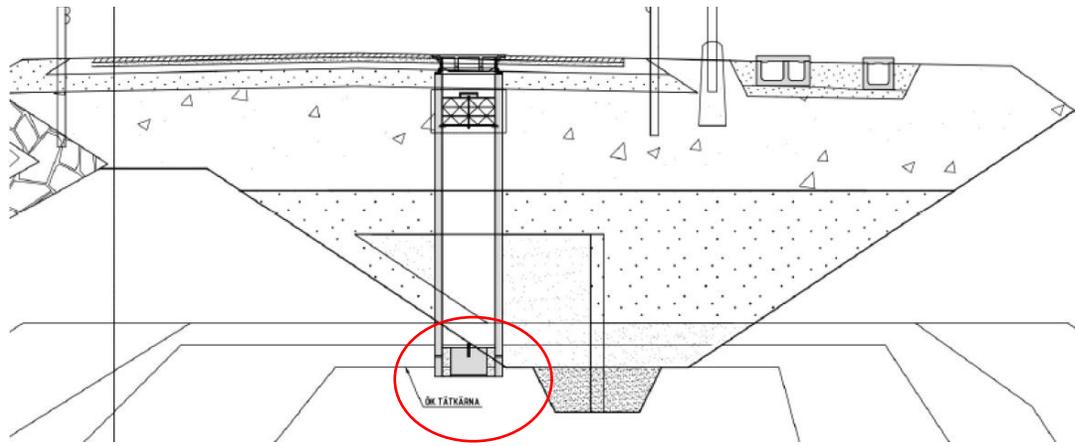
Mätning av höjdskillnader mellan olika punkter

Vanlig metod

Låg osäkerhet

Tidskrävande

Svårt att automatisera



PUNKTBASERADE METODER

Totalstation

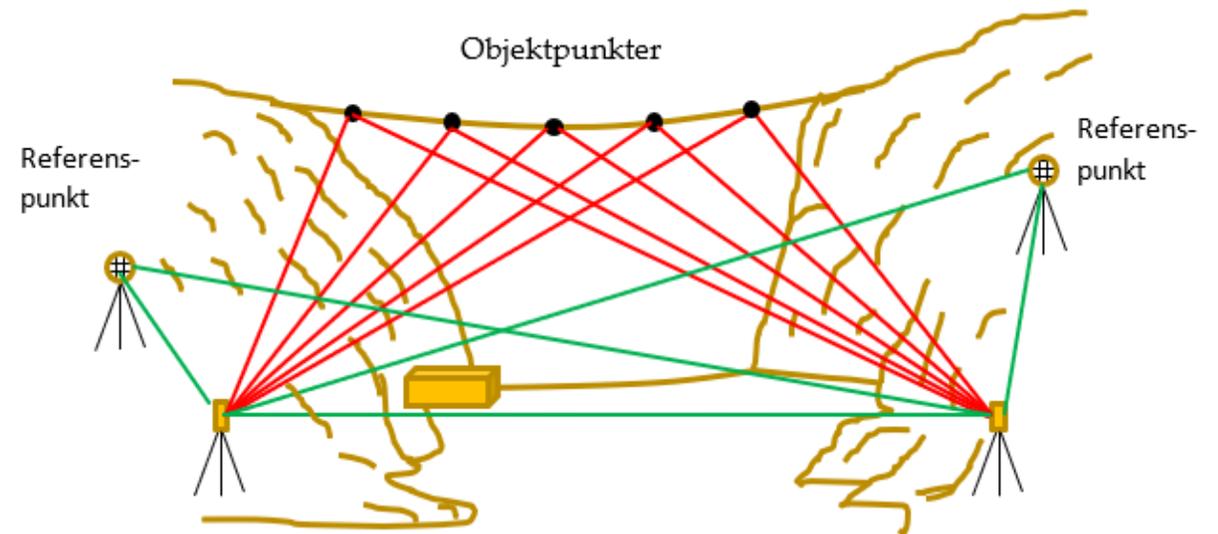
Koordinater och höjd för punkter

Prismor placeras på de punkter som ska mätas in

Mätaren tittar i totalstationen och hittar prisma, alt automatisk variant som hittar prisma

Totalstationen beräknar vinkel och mäter avstånd till prisma med laserstråle

Behövs referenspunkter



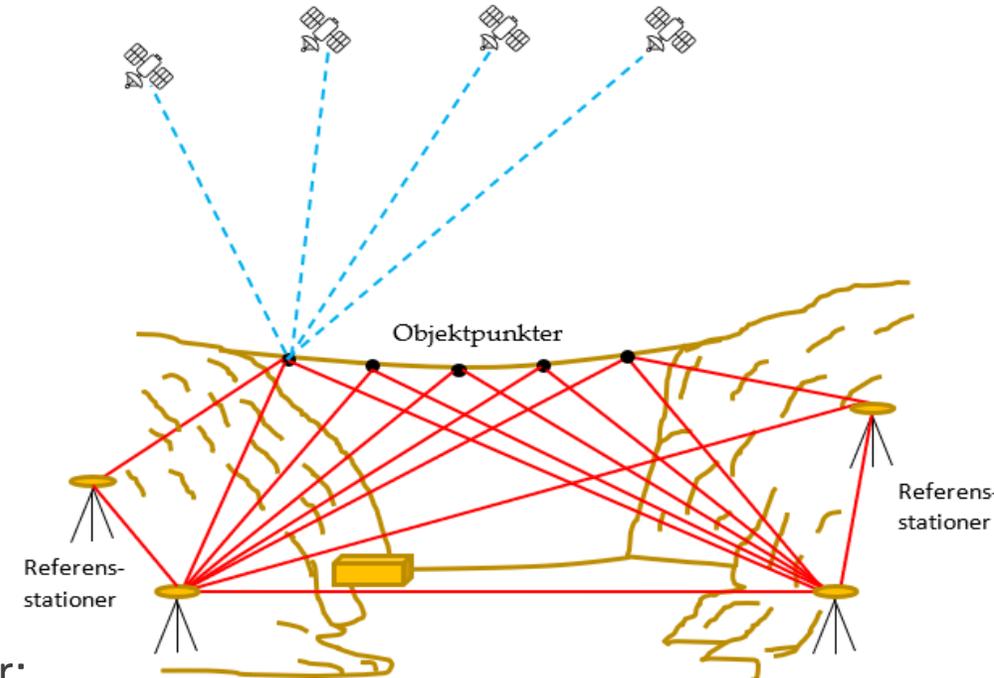
PUNKTBASERADE METODER

GNSS (Global Navigation Satellite Systems):
amerikanska GPS, ryska Glonass, europeiska Galileo
och kinesiska Beidou.

I vardagen: GPS

GNSS-mottagare i punkt: bestämmer avstånd till
minst fyra satelliter

Referensstationer ökar noggrannheten, går att
använda lokala eller ett redan uppbyggt nätverk
(Swepos, Lantmäteriet)



Fördelar:

Möjlighet till kontinuerlig övervakning i 3D

Enkelt underhåll efter installation

Strömförsörjning på plats eller batteri (solceller)

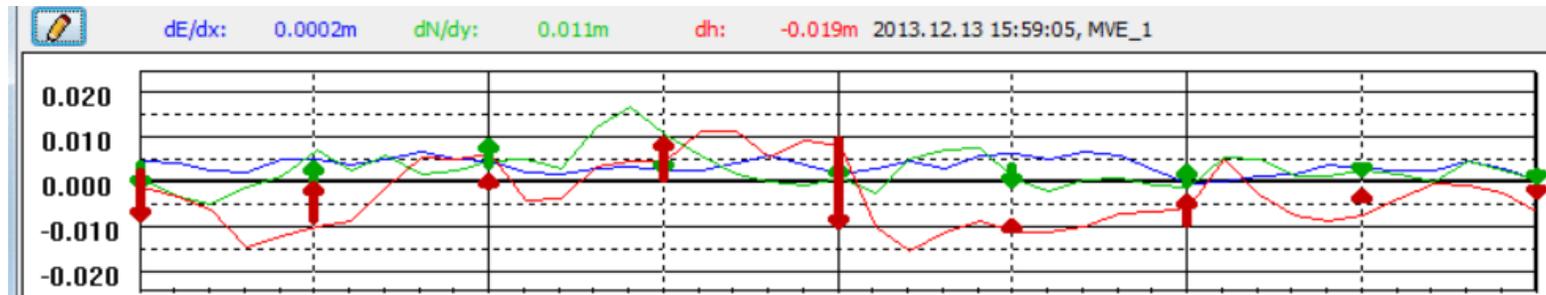
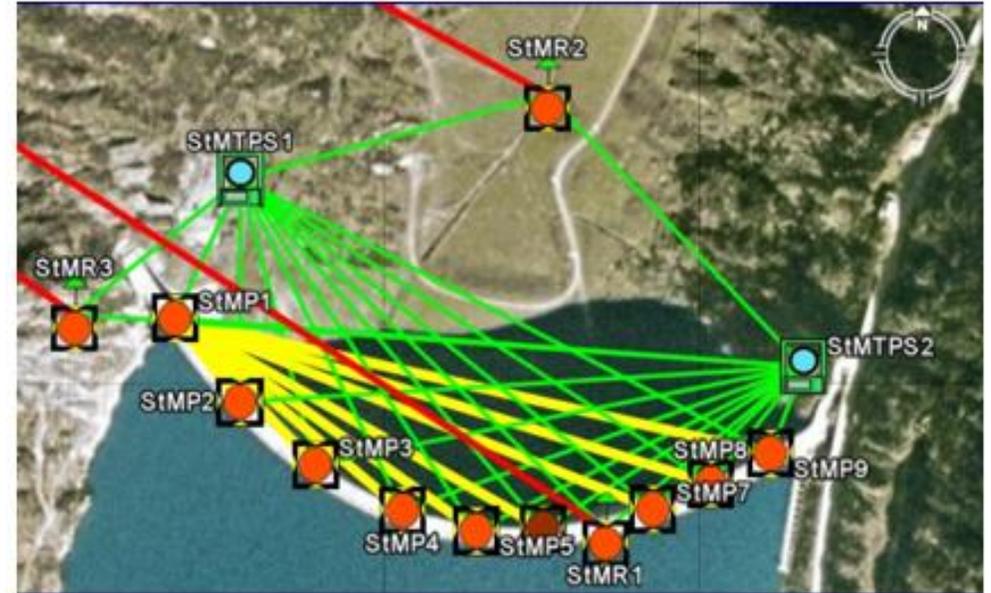
PUNKTBASERADE METODER

Automatisk mätning med integrerade system

Programvara: kommunikation mellan ingående sensorer, databearbetning, analys och larmfunktion

Ex GOCA, Leica GeoMoS

Forskning pågår

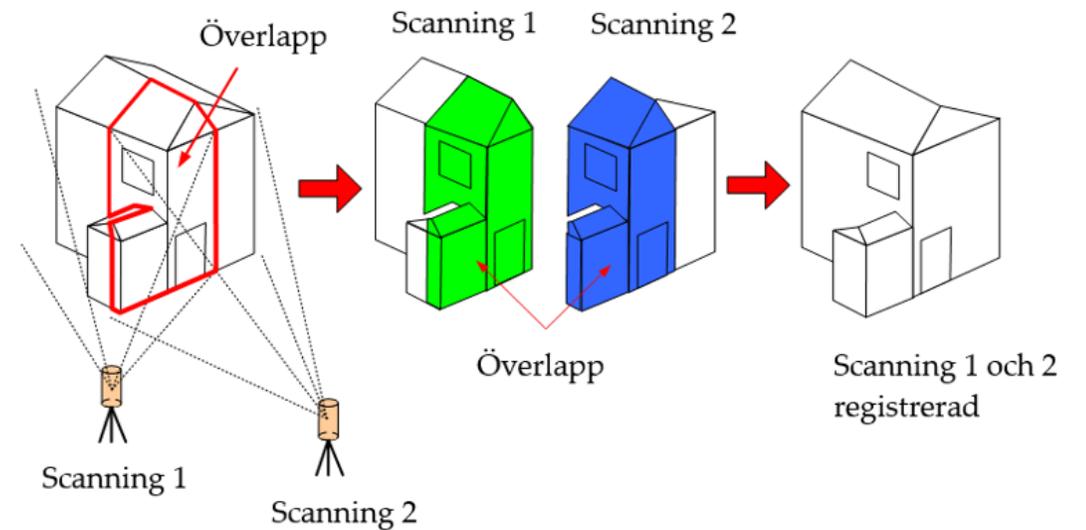
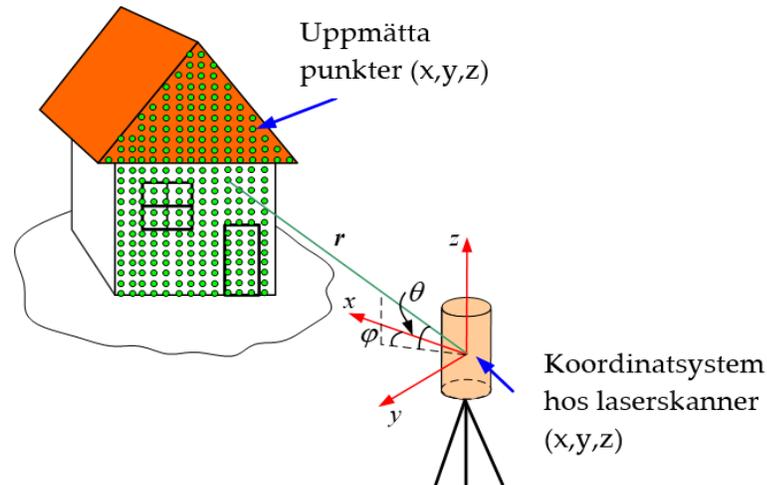


YTBASERADE METODER

YTBASERADE METODER

Markbaserad laserskanning

- Mäter avstånd och vinklar till 100 000-tals punkter/sek
- Skicka ut en laserstråle, mäter tiden för ljuset att komma tillbaka
- Hög detaljeringsgrad
- Noggrannhet 5-20 mm i plan och höjd
- Påverkas av vegetation

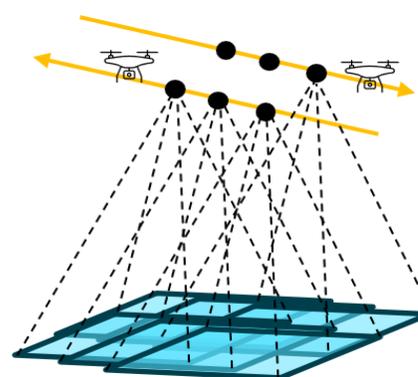


YTBASERADE METODER

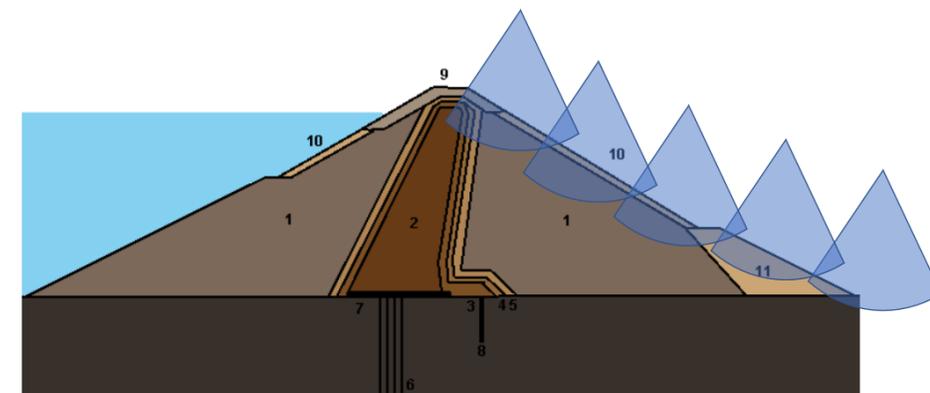
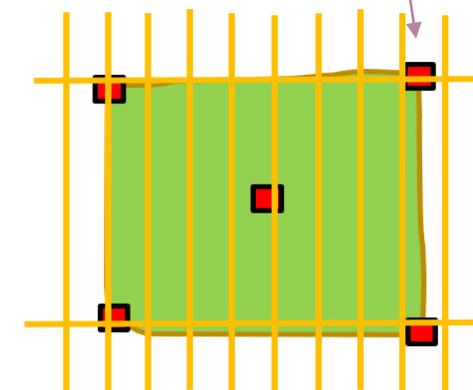
Unmanned Aircraft System (UAS) – fotogrammetri och laserskanning

- Drönaren (farkosten)
 - En sensor (digitalkamera eller laserskanner)
 - Styrnings- och kommunikationssystem
- Mäta in medelstora ytor:
 - På kortare tid än med markbaserade mätmetoder
 - Billigare än bemannade flygfarkoster
 - Noggrannhet på centimeternivå
 - Fotogrammetri: Billigare, beroende av bra ljus
 - Laserskanning: Bättre vid vegetation, snabbare att ta fram punktmoln

Drönare



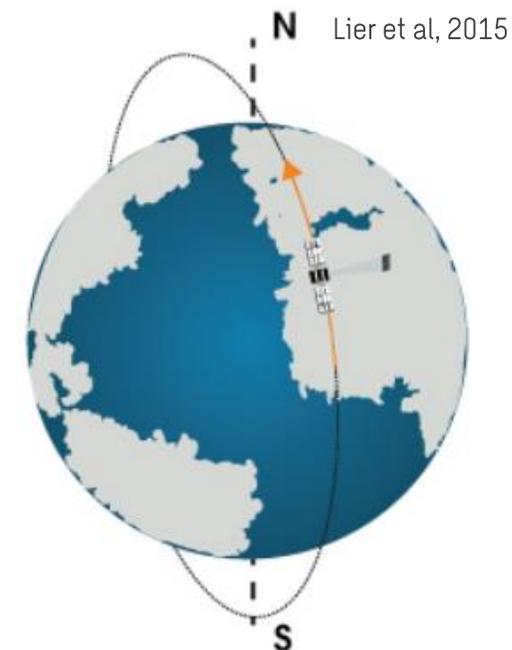
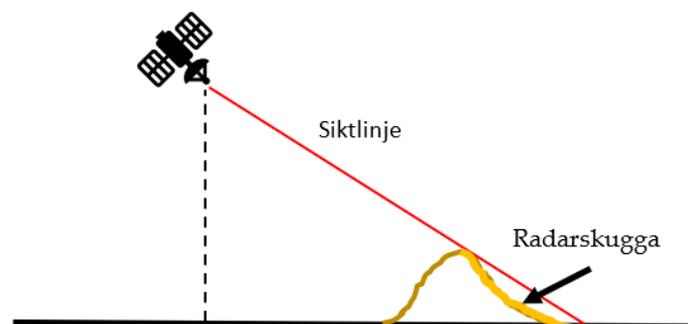
Referenspunkter (flygstöd)



YTBASERADE METODER

InSAR

- Data från radarsatelliter
- Satelliterna passerar över samma område med jämna mellanrum (från 6 dagar - 1 månad)
- Ej bestämma rörelser vid vegetation eller snötäcke
- Radarskugga: Fungerar dåligt på t.ex. branta slänter som vetter från satelliten
- Fyllningsdammar:
 - Rörelser i höjd och öst-västlig riktning – bra resultat
 - Rörelser i nord-sydlig riktning - svåra att bestämma
- Låg noggrannhet för specifika punkter
- Bra för analys av större områden
- Gratis: mättäthet 10 m, betaltjänst: 1 m täthet



YTBASERADE METODER

Markbaserad SAR

Radarutrustning

Skickar ut och tar emot mikrovågor

Står på marken, flyttas på en skena

Tekniken kan installeras permanent, samla in data kontinuerligt

Enkel men dyr teknik

Hög mätnoggrannhet (mm-nivå)

Lägre punkttäthet än markbaserad laserskanning och UAS



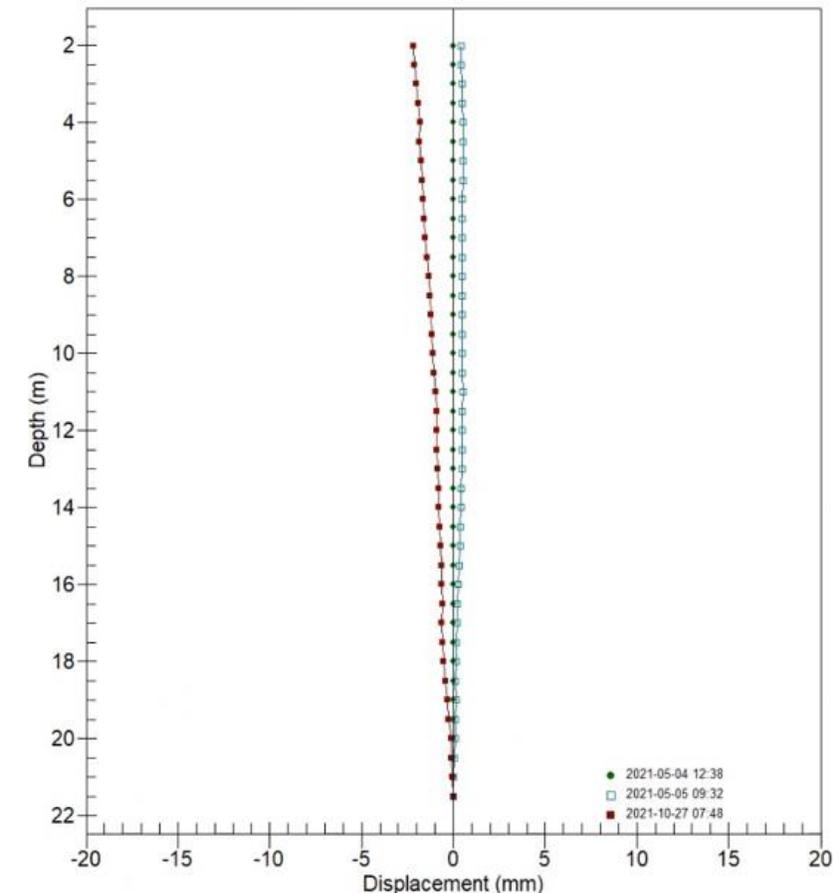
RÖRELSEMÄTNING I DAMMKROPPEN

RÖRELSEMÄTNING I DAMMKROPPEN



Inklinometer

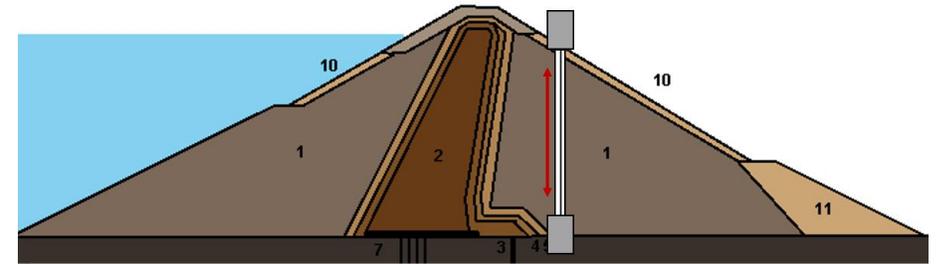
- Mäter horisontella rörelser
- Plaströr borrar ned vertikalt i en damm, vanligtvis i filter eller vid spontände
- Genom upprepade mätningar studeras lutningsförändring hos röret
- Automatisk mätning med sensorer
- Manuell mätning med inklinometersond
- Noggrannhet på mm-nivå



RÖRELSEMÄTNING I DAMMKROPPEN

Extensometer

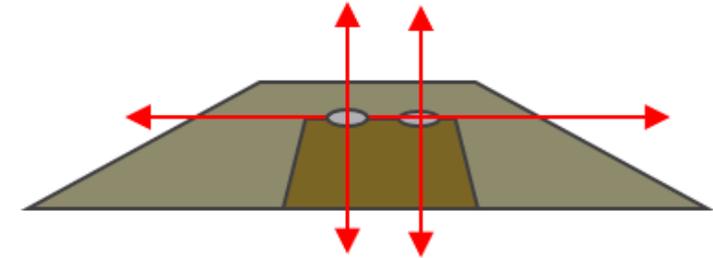
- Mäter vertikala rörelser
- Installeras i borrhål för att övervaka rörelser mellan två definierade punkter, t.ex. dammkrön och berg
- Ersätts ofta av inklinometrar
- Kan används om risk finns för horisontella förskjutningar i berget under dammen
- Pålitlig och robust mätning



RÖRELSEMÄTNING I DAMMKROPPEN

Sättningsmätare

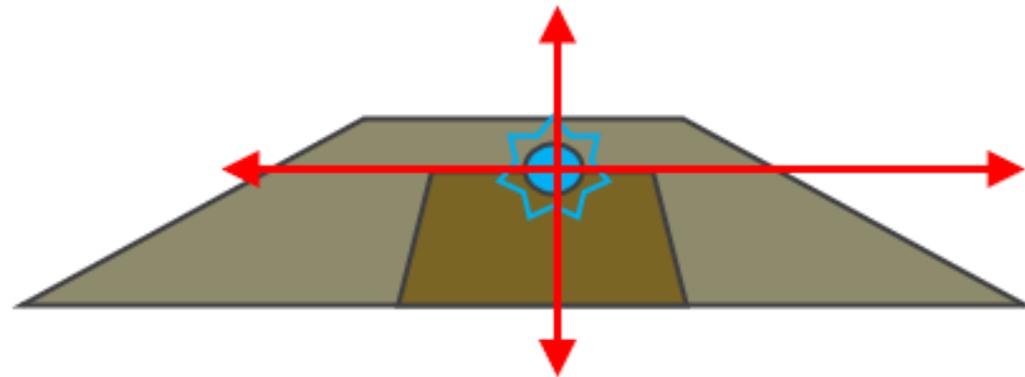
- Mäta vertikala deformationer
- Olika typer:
 - Mätrör med referensgivare i botten, sättningsgivare på vald nivå och avläsning av nivå vid ök rör
 - Plattor på utsidan av ett inklinometer rör som rör sig (uppåt eller nedåt)
 - Slangsättningsmätare: Känner av tryckhöjd i förhållande till en vätskebehållare
 - Elektriska sättningsmätare: används vid nybyggnationer och placeras på olika nivåer i dammen



RÖRELSEMÄTNING I DAMMKROPPEN

Optisk fiber

- Kabel med ljusledande kärna
- Skicka ljussignal med låga förluster
- Vanligt att mäta temperatur, även möjligt att mäta töjning (rörelse) av kabeln
- Kan exempelvis placeras längs tät kärnan
- Hög mät noggrannhet



RÖRELSEMÄTNING I DAMMKROPPEN

ShapeArray (SAA)

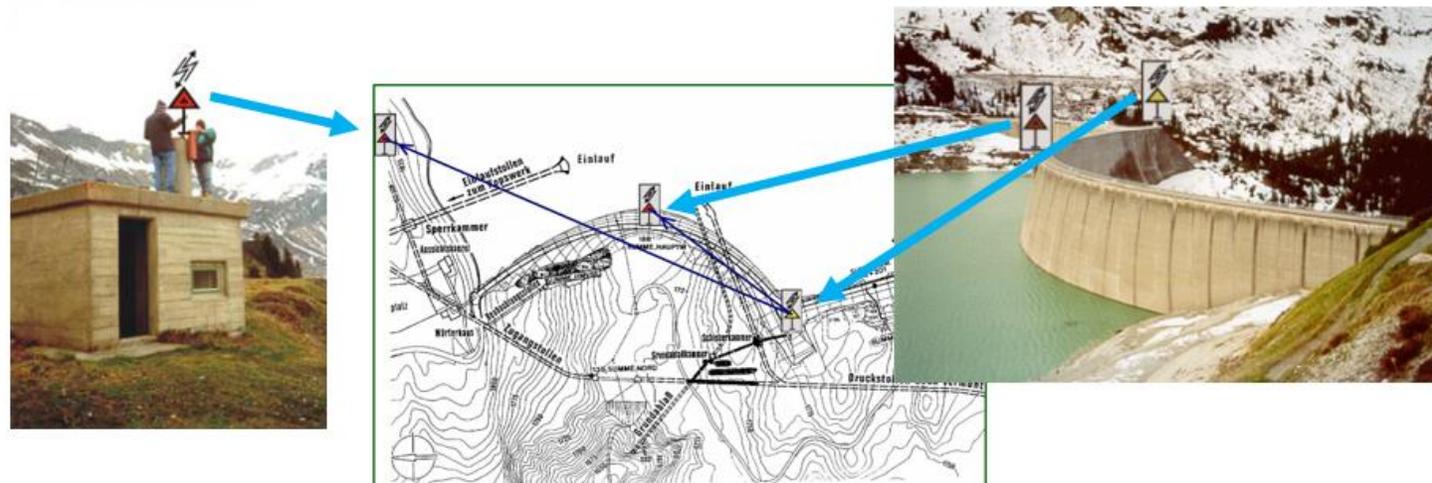
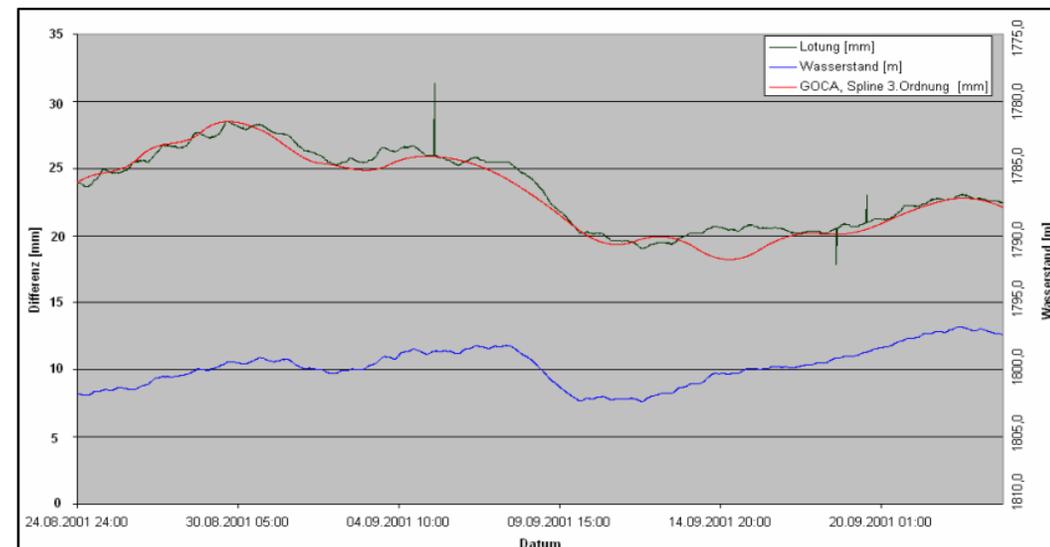
- Ny teknik, Sverige testdamm
- Mätning av rörelser i tre dimensioner
- Kabel med ledade, styva mätsegment. Registrerar deformationer på kabeln
- Snabbare, enklare mätning än inklinometer
- Sämre noggrannhet än inklinometer
- Studier pågår om mätning i befintliga grundvattenrör



EXEMPEL PÅ RÖRELSEÖVERVAKNING

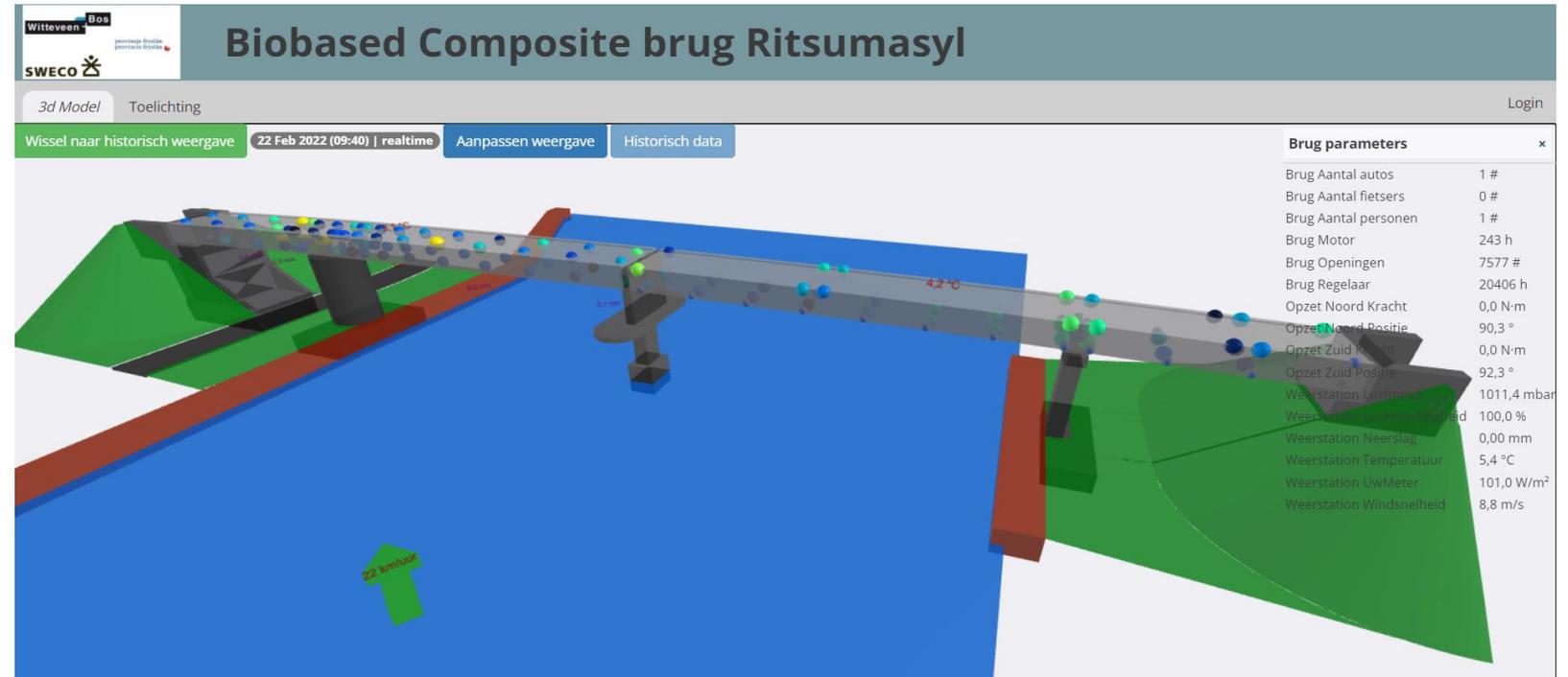
EXEMPEL 1 – Automatiserat system + GNSS

- Syfte: Övervaka rörelse i betongdamm i Österrike
- Etableringen av tre **GNSS-mottagare**, två på dammen och en referenspunkt utanför dammen.
- Observera horisontella rörelser på dammens krön
- Röda linjen - trendkurva för GNSS-mätning
- Svarta linjen –manuell kontrollmätning med lod i samma punkt
- Blå linjen – variationer av vattenståndet



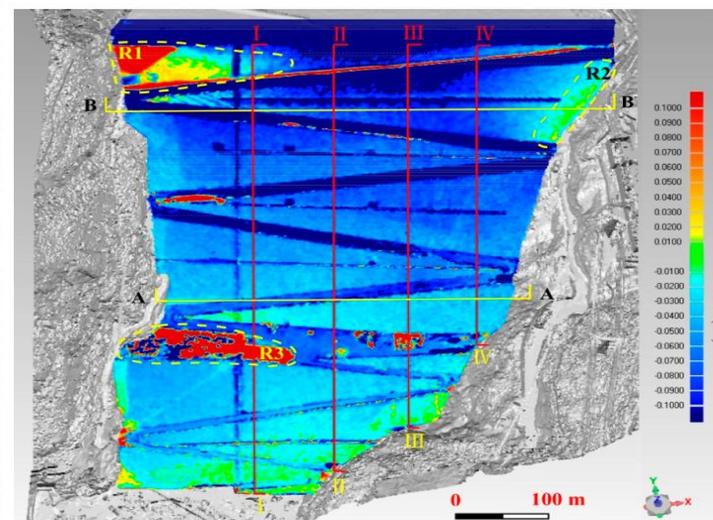
EXEMPEL 2 – Automatiserat system + Fiberoptik

- Bro i Nederländerna, fiberoptiska sensorer och program för visualisera övervakning
- Prickar: sensorer med olika färg beroende på hur stora deformationerna är
- Kontrollera olika belastningar på bron



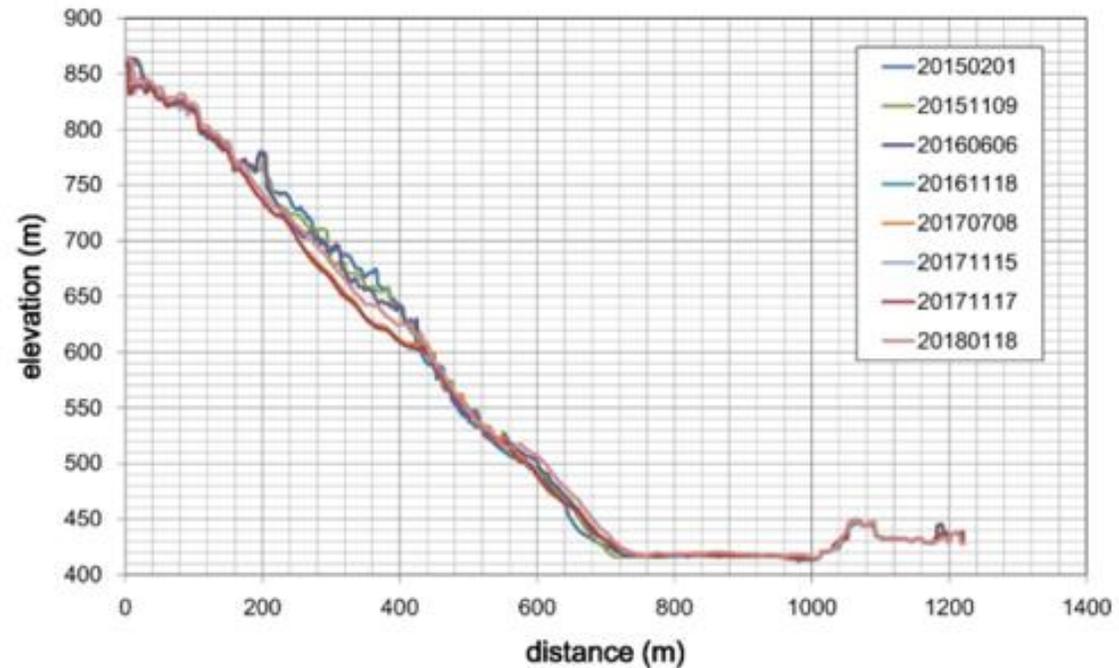
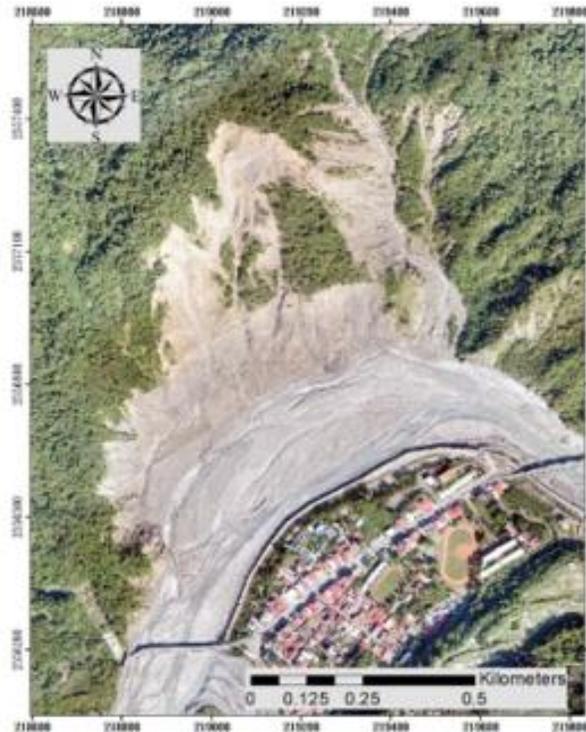
EXEMPEL 3 – Markbaserad laserskanning

- Syfte: Övervaka rörelser hos den nybyggda fyllningsdammen Changheba, Kina
- Resultat: Deformationer över dammen, jämförelse mellan två år (ökade från botten → toppen)



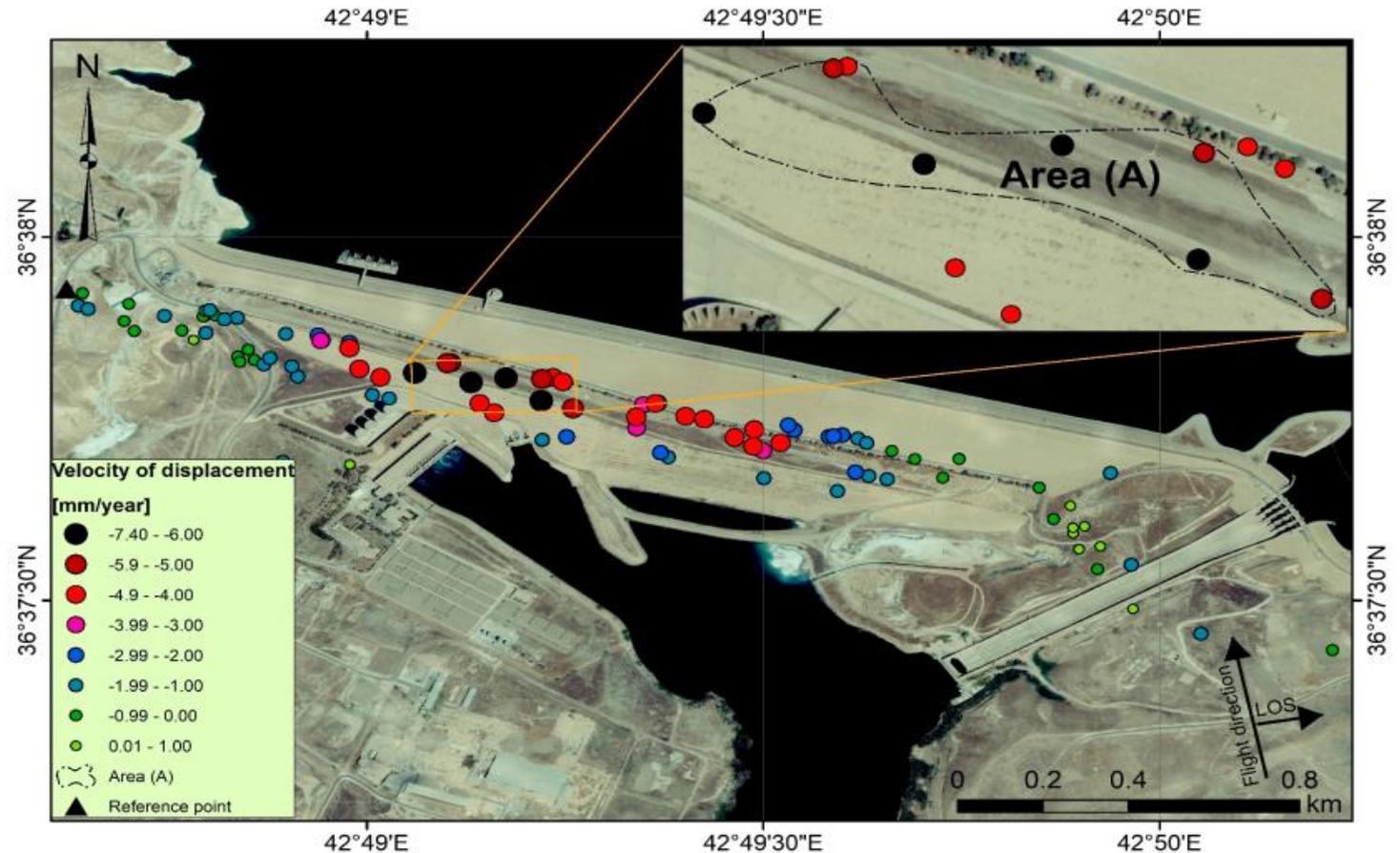
EXEMPEL 4 – UAS-fotogrammetri

- Syfte: Övervaka jordskredets utveckling i Taiwan
- 2-3 flygningar med drönare per år
- Fotogrammetri: mätnoggrannhet ca 5 cm



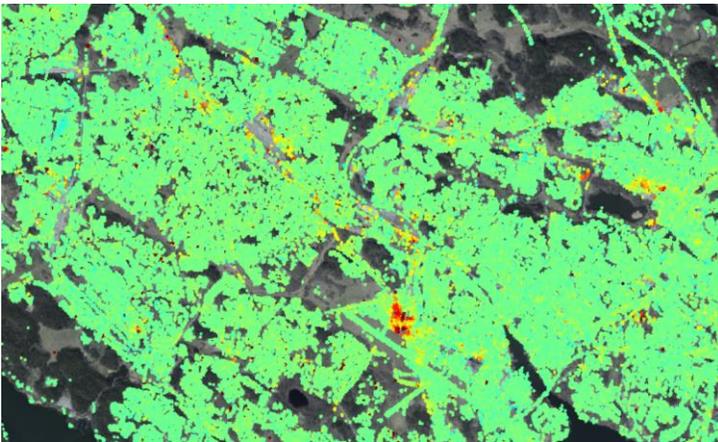
EXEMPEL 5 – InSAR, Mosuldammen

- Mosuldammen i Irak
- Data 2014-2019: upp till 7 mm/år (sättningar) med mätosäkerhet på ca 1 mm/år.
- De största deformationerna (svarta och mörkröda punkter) upptäcktes i dammens centrum



EXEMPEL 6 – InSAR, Sverige

- Resultat från InSAR-mätningar – tillgängliga GRATIS
- [InSAR Sweden \(rymdstyrelsen.se\)](https://www.rymdstyrelsen.se/in-sar-sweden)



Legend across all datasets. Limits are in mm/year.



ERFARENHETER FRÅN SVENSK DAMMÄGARE

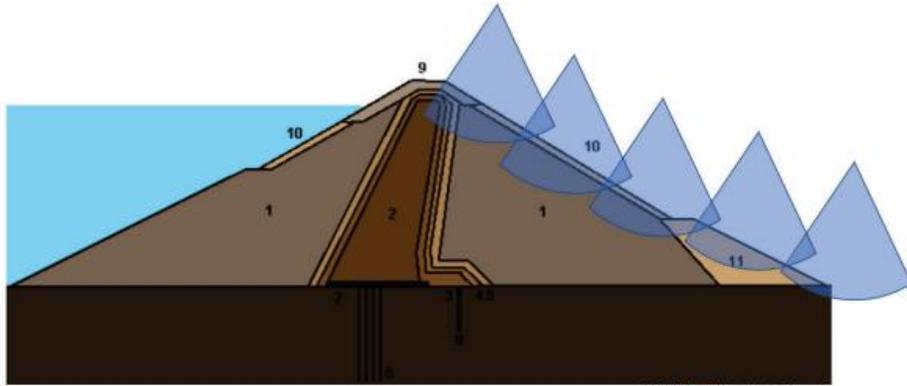
Intervju med tre representanter från Vattenfall

- Traditionell *avvägning* huvudsaklig mätmetod
- Utfört flygningar med *UAS*
 - Vision att skapa "noll-modeller" utifrån UAS-data för alla anläggningar
- Utmaning: Ett *bra stomnät* för att kunna "georeffa" data korrekt
- Testat *laserskanning*, dyrt. Bättre för specifika anläggningsdelar
- Tror på *InSAR*, testat på Ajaure och utvecklingsprojekt pågår med Trafikverket
- I dammkroppen "*inklinometern* viktigt syfte"
- *SAA* bra komplement, sämre noggrannhet men studerar möjligheten att mäta rörelser i befintliga rör
- Viktigt vid beställning av rörelsemätning: veta vilken *slutprodukt* som önskas

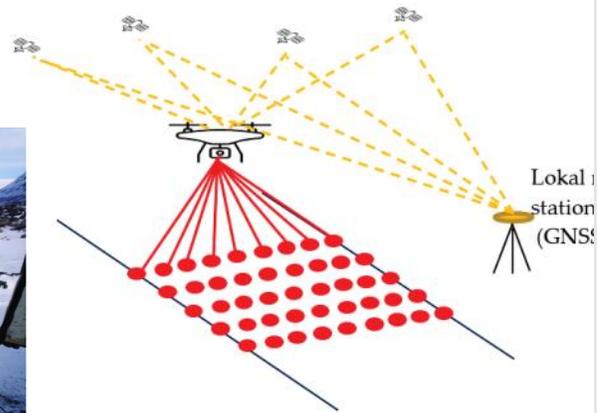
BÄSTA MÄTMETODEN?

- Ingen metod ger ensam en tillförlitlig bild
- Bäst: Kombination
- Övervakning tät kärna: Traditionell avvägning lägsta mätosäkerheten i höjd
- Framöver: GNSS och automatisk övervakning med totalstation potential
- Spännande att följa InSAR och utveckling mätnoggrannhet UAS
- **Visuell inspektion fortsatt väldigt viktigt**

FRÅGOR?

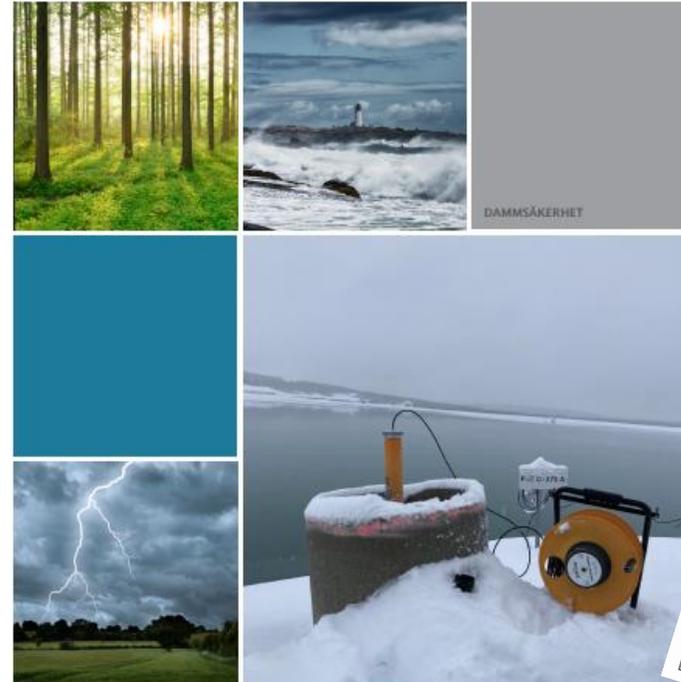


Bildkälla: <https://vattenkraft1.info>



MÄTMETODER FÖR RÖRELSEÖVERVAKNING AV FYLLNINGSDAMMAR

RAPPORT 2022:861



 Energiforsk

Tabell 6-3 Sammanställning av ett antal parametrar för rörelseövervakning på dammens yta med olika metoder.

Metod	Orsakstyp/noggrannhet	Typ av rörelse som övervakas	Tidsåtgång för att genomföra mätning	Möjlighet till realtidsövervakning	Livslängd
Markbaserad laserskanning	Mätosäkerhet på snö- och isbelagda områden ofta mindre än 20 mm	Horisontell och vertikal	Längsår som totalstation och markbaserad SAR men med betydligt högre detaljskärpa	Nej	Obegränsad skanningsområde inga fasta punkter
LiDAR	Inom damnsikt, områden vid stora förhållanden	Horisontell och vertikal	Beror på kravsätt för noggrannhet och sensor, mätning vanligen genomförd under 1 dag	Nej	Obegränsad skanningsområde inga fasta punkter
InSAR Sveden på webben	sn (relativa rörelser)	I satellitens sikteriktning	Automatiskt system, data finns tillgängliga på webben	Nej	Beror på satelliternas livslängd
Markbaserad SAR	I uppstoppningsriktning	Längsår som totalstation och markbaserad laserskanning men betydligt lägre detaljskärpa	Ja	Obegränsad, instrumets användning inga fasta punkter	InSAR-tekniken används i begränsad omfattning av InSAR Sveden laserskanning

SWECO

